

Além da Economia de Combustível

A Análise Econômica Completa da Redução do Tempo de Operação do TRU

Uma análise de valor total abordando economia de combustível, valor de revenda e investimentos de frota para carretas frigoríficas.

Patrick Racine, CEO, ChillSkyn Inc.

Christopher Trajkovski, VP, Transporte, Armazenagem, e Logística, Perdue Farms.

Julho de 2026

Resumo Executivo

O valor de uma carreta frigorífica sofre depreciação por hora e não por ano de uso. As horas de operação do equipamento de refrigeração (TRU), e não a idade da carreta ou a quilometragem do cavalo mecânico, são a principal variável que revendedores e compradores utilizam para avaliar o valor de uma carreta frigorífica usada no momento da venda. Uma carreta submetida a maior esforço simplesmente envelhece mais rápido, independentemente do seu ano de fabricação.

O PolyFrost®, revestimento de resfriamento radiativo passivo da ChillSkyn, reduz o tempo de operação do TRU entre 15% e 20% através da redução da carga térmica que o sistema de refrigeração precisa combater. Essa redução no tempo de operação cria três fontes de economia quantificáveis ao longo da vida útil da carreta:

- 1. Economia de combustível:** a redução do tempo de operação do TRU resulta em um menor consumo de diesel, gerando economia operacional direta em todos os anos em que a carreta estiver em serviço.
- 2. Valor de revenda e adiamento de despesas com o TRU:** a redução no acúmulo de horas de operação ao longo do tempo de uso garante um valor maior de revenda e adia as despesas de capital associadas à retífica do TRU.
- 3. Adiamento nos investimentos para substituição completa da carreta:** A mesma redução no tempo de operação que adia a retífica de um TRU também adia o desembolso de um capital muito maior necessário para a substituição total da carreta. Avaliado em termos de valor presente, essa é a maior fonte de economia individual nesta análise.

Um quarto benefício, a resiliência operacional, é importante, porém mais difícil de precificar. Maior estabilidade na temperatura de distribuição e retorno do ar frio, além de menor sobrecarga mecânica durante eventos de calor extremo, reduzem o risco de perda de carga e avarias por variação de temperatura. Esse benefício é discutido juntamente com os três outros benefícios quantificáveis, mas é excluído do ganho financeiro total mostrado adiante, pois sua magnitude é específica para o perfil operacional de cada frotista.

Neste artigo, essas três fontes de economia são dimensionadas utilizando um perfil de frota de 2.500 horas de operação do TRU por ano, ao longo de um ciclo de renovação de seis anos. Sob esse perfil, uma frota sem qualquer mitigação de tempo de operação acumula 15.000 horas exatamente no ponto em que o valor de revenda começa a declinar de forma expressiva, e atinge o limite de fim de vida útil do TRU (20.000 horas) no oitavo ano — o que normalmente desencadeia a substituição completa da carreta. Uma redução de 15% a 20% no tempo de operação coloca essa mesma carreta em uma posição de revenda significativamente mais forte, ou estende sua vida útil em cerca de 1,4 a 2 anos antes de atingir o limite de substituição.

A economia de combustível acumula-se durante o tempo de uso; já o ganho de revenda e o adiamento do investimento só ocorrem no momento da saída ou substituição da carreta. A um custo de capital representativo de 10%, as três fontes combinadas representam um potencial total de economia de aproximadamente US\$ 21.000 a US\$ 28.000 por carreta ao longo de um ciclo de seis anos, sendo o adiamento nos investimentos para substituição da carreta o maior componente

isolado. As seções a seguir detalham a composição desse valor abordando uma fonte de economia por vez, consolidando-as na Seção 8.

1. O Problema: O Valor da Carreta Frigorífica Sofre Depreciação por Hora, Não por Ano

As horas de operação das unidades de refrigeração para transporte (TRU, da sigla em inglês Transport Refrigeration Unit) — ou seja, o total de horas de motor registradas desde novo — são a métrica principal que compradores e revendedores experientes utilizam para julgar o valor de uma carreta frigorífica usada, superando o ano do modelo, a marca e a condição estética para revelar a sua verdadeira condição mecânica.

Essa distinção importa porque as horas de operação do TRU e a quilometragem do cavalo mecânico não caminham juntas. Um cavalo mecânico puxando uma carreta frigorífica pode marcar 600.000 milhas (aprox. 965.000 km), enquanto a unidade de refrigeração da carreta marca 22.000 horas. As unidades de refrigeração operam sempre que a carga precisa ser mantida fria — durante a espera nas docas, no pátio e em pernoites —, independentemente de o caminhão estar em movimento. Um ativo pode parecer pronto para a estrada, enquanto o outro já se aproxima do fim de sua vida útil.

O motivo de as horas importarem mais do que a idade é mecânico. Os principais componentes de um TRU, como o compressor, o alternador e o sistema de combustível, degradam-se com base no tempo de operação, e não na idade do calendário. Uma carreta que fica mais tempo parada e opera menos horas sofre menos desgaste, independentemente do que diga o seu ano/modelo.

Os compradores têm avaliado cada vez mais as carretas usadas dessa forma. Uma carreta mais nova com um equipamento de alta quilometragem/hora rotineiramente exigirá manutenções mais imediatas do que uma carreta mais antiga com um equipamento de poucas horas e um bom histórico de serviço. É por isso que as horas, e não o ano do modelo, tornaram-se o primeiro número solicitado por compradores experientes.

2. Quantificando a Curva

Como as horas, e não a idade, determinam o desgaste, o valor de revenda deve seguir uma curva previsível atrelada à vida útil do TRU, em vez da idade cronológica da carreta. O modelo de depreciação utilizado neste artigo — derivado da participação típica do TRU no valor de uma carreta nova e da sua curva de "vida-útil-até-retifica" — mapeia esse declínio em quatro faixas práticas (o cálculo completo encontra-se na Seção 5):

Horas do TRU	Posicionamento no mercado
Abaixo de 12.000	Ótima janela de revenda. Revendedores e compradores pagam o valor total.
12.000 – 15.000	Ainda comercializável, mas o valor começa a diminuir.
15.000 – 20.000	O valor diminui significativamente. Custos de manutenção disparam.
Acima de 20.000	O valor de revenda cai para preço de sucata. Falhas em componentes principais tornam-se prováveis.

Modelo de depreciação desenvolvido para este artigo, baseado em dados de vida útil e participação de valor do TRU; veja a Seção 5 para o cálculo detalhado.

Essas faixas explicam por que a vida útil típica de um TRU (15.000 a 20.000 horas antes de exigir uma retífica ou substituição) coincide precisamente com o ponto em que o valor de revenda diminui drasticamente. O desgaste que encerra a vida útil de um TRU é o mesmo desgaste que corrói o que o comprador está disposto a pagar pela carreta.

Ao sobrepor um ciclo de trabalho padrão de frota sobre esta curva, a exposição fica clara. A uma média de 2.500 horas de operação por ano, um ciclo de uso de seis anos deixa a carreta com exatas 15.000 horas acumuladas — o limite superior da faixa "ainda comercializável" e o ponto de entrada na faixa em que o valor cai significativamente. Uma transportadora que opera com um cronograma convencional de substituição de seis anos está, sem saber, vendendo seus ativos exatamente no ponto da curva em que os compradores começam a aplicar os maiores descontos.

3. A Alavanca: O Que uma Redução de 15% a 20% no Tempo de Operação Realmente Faz

Reduzir o tempo de operação do TRU move a posição da carreta na curva de horas de duas maneiras, dependendo de como o frotista gerencia a renovação de seus ativos.

Caminho A: Mesmo cronograma de saída, melhor posição de revenda

Uma transportadora que negocia ou substitui carretas com base em um cronograma fixo se beneficia ao chegar a esse ponto de saída com menos horas acumuladas.

Redução do Tempo de Operação	Horas efetivas/ano	Horas acumuladas no 6º ano	Faixa de revenda
Referência	2.500	15.000	O valor diminui significativamente (limite superior)
15%	2.125	12.750	Ainda comercializável, depreciação leve
20%	2.000	12.000	Ótima janela de revenda

Considerando 2.500 horas de operação base do TRU por ano e ciclo de renovação de 6 anos

Na extremidade superior dessa faixa, uma carreta sai da operação posicionada no início da "ótima janela de revenda" em vez de estar no final da faixa onde "o valor diminui significativamente" — saltando para uma categoria de maior valorização na revenda, mantendo o mesmo cronograma de tempo de uso.

Caminho B: Mesmo limite de desgaste, maior vida útil

Um frotista que opera carretas até atingirem o limite de desgaste, em vez de seguir um cronograma fixo, beneficia-se adiando a data em que esse limite é atingido.

Redução do Tempo de Operação	Anos até 15.000 h	Tempo de Uso Extra (anos)	Anos até 20.000 h	Tempo de Uso Extra (anos)
Referência	6,0	—	8,0	—
15%	7,1	+1,1	9,4	+1,4
20%	7,5	+1,5	10,0	+2,0

O Caminho A e o Caminho B não são mutuamente excludentes. Eles representam o mesmo mecanismo subjacente (horas evitadas), expresso como dois resultados diferentes, dependendo da decisão da transportadora no momento da substituição. A Seção 10 detalha qual caminho se aplica a qual tipo de frota.

4. Primeira Fonte de Economia: Economia Direta de Combustível

Frotistas operam com índices operacionais bastante justos, onde cada redução de custo fixo ou variável vai direto para o lucro líquido. Reduzir o tempo de operação do TRU diminui diretamente o consumo de diesel, gerando economia operacional a cada ano em que a carreta está em serviço.

Parâmetros de cálculo

- Consumo base de combustível do TRU: 0,8 galões/h
- Horas de operação: 2.500/ano
- Tempo de uso na frota: 6 anos
- Redução no tempo de operação: 17,5% (valor médio entre 15% e 20%)

Consumo de Combustível	Referência	Com 17.5% de Redução
Consumo anual do TRU	2.000 galões/ano	1.650 galões/ano
Consumo total em 6 anos	12.000 galões	9.900 galões
Combustível economizado em 6 anos	—	Aprox. 2.100 galões (7.950 L)

Preço do Diesel (US\$ por galão)	Economia Anual (US\$ por ano)	Economia Acumulada em 6 Anos (US\$)
3.00	1,050	6.300
3.50	1.225	7.350
4.00	1.400	8.400

Os TRUs operam com diesel off-road, que é isento de impostos rodoviários federais e estaduais nos EUA e é tipicamente US\$ 0,30 a US\$ 0,50 mais barato por galão que o diesel rodoviário comum. A economia de combustível escala linearmente com o preço do diesel; o frotista pode substituir esses valores pelo seu próprio custo atual ou projetado do diesel para adaptar esse cálculo à sua realidade.

Em qualquer faixa de preço, a economia de combustível por si só representa um benefício operacional anual relevante, realizado de forma independente e somado às fontes de economia de revenda e adiamento dos investimentos abordadas a seguir.

5. Segunda Fonte de Economia: Valor de Revenda e Adiamento de Investimento no TRU

Horas economizadas se traduzem em preservação do valor de revenda

A aplicação da redução do tempo de operação sobre a curva de revenda estabelecida na Seção 2 gera uma faixa de valor preservado por carreta. O TRU representa cerca de 30% a 35% do valor de uma carreta nova. Esse valor declina de maneira constante ao longo das 15.000 a 20.000 horas de vida útil do equipamento até que a carreta alcance o fim de sua vida útil comercializável. Essa relação implica um custo de desgaste de aproximadamente US\$ 1,00 a US\$ 1,65 por hora de TRU (veja a metodologia no Apêndice).

Redução do Tempo de Operação	Horas Economizadas (6 Anos)	Valor Preservado a US\$ 1,00/h	Valor Preservado a US\$ 1,65/h
15%	2.250 h	US\$ 2.250	US\$ 3.713
20%	3.000 h	US\$ 3.000	US\$ 4.950

O mesmo horímetro também governa a decisão de retífica do TRU

A redução no acúmulo de horas também adia o momento em que o próprio TRU precisará de uma retífica ou substituição, independentemente do que acontecer com a carroceria da carreta.

Despesa de Capital	Ponto de Gatilho	Custo Evitado / Adiado	Adiamento com Redução de 15–20%
Retífica ou substituição do TRU	~15.000–20.000 h	US\$ 15.000–US\$ 25.000	Aprox. 1,1 a 2,0 anos extras

Este adiamento voltado apenas ao TRU é o menor componente da análise de capital. A Seção 6 quantifica um efeito muito maior quando aplicado à carreta completa ao invés de apenas focar na unidade de refrigeração.

6. Terceira Fonte de Economia: Adiamento de Capital na Substituição Completa da Carreta

Reduzir o desgaste do TRU não apenas adia a sua retífica, mas também posterga o desembolso considerável de capital necessário para substituir a carreta inteira. Avaliada em termos de valor presente, esta é a maior das três fontes de economia apresentadas neste documento.

Frotistas raramente substituem uma carreta devido ao desgaste da carroceria. Na prática, a aposentadoria da carreta é motivada pelo fim da vida útil do TRU, normalmente na faixa de 15.000 a 20.000 horas, momento em que uma retífica do TRU em um ativo antigo deixa de fazer sentido econômico e a transportadora opta pela substituição da carreta inteira. A mesma redução no tempo de operação que adia a retífica de um TRU também adia esse imenso desembolso de capital, uma vez que ambos são governados pelas mesmas horas acumuladas.

Esta fonte de economia precisa ser medida de forma diferente da economia de combustível ou do valor de revenda. A economia de combustível é um benefício de caixa anual; adiar a compra de uma carreta não elimina o custo, apenas o posterga. A forma correta de avaliar a postergação de uma saída de caixa é através do valor do dinheiro ao longo do tempo: um dólar gasto daqui a dois anos vale menos hoje do que um dólar gasto imediatamente, porque a empresa mantém esse capital rendendo, ou evita os juros do financiamento nesse período.

Dimensionando o adiamento

Usando o limite de 20.000 horas para o fim da vida útil do TRU — o ponto que mais diretamente desencadeia a substituição completa da carreta —, uma redução de 15% a 20% no tempo de operação estende a vida útil da seguinte forma:

Redução do Tempo de Operação	Anos para atingir 20.000 h	Tempo Extra vs. Referência
Referência	8,0	—
15%	9,4	+1,4 anos
20%	10,0	+2,0 anos

Na extremidade superior dessa estimativa, um frotista adia a compra de uma carreta nova em dois anos inteiros.

Estimando o valor do adiamento

Método

$$\text{Valor do adiamento} = \text{Preço da carreta} - \left[\frac{\text{Preço da carreta}}{(1 + \text{Custo de capital})^{\text{anos adiados}}} \right]$$

Esta é a aplicação padrão do conceito de 'valor presente' para um desembolso de capital postergado: a transportadora mantém o valor da compra rendendo em outras áreas do negócio, ou evita o custo de financiá-lo, durante todo o período do adiamento.

Aplicado a um preço representativo de US\$ 90.000 para uma carreta nova, dentro da faixa de mercado de US\$ 60.000 a mais de US\$ 90.000, e utilizando uma faixa representativa de custos de capital para financiamento de carretas comerciais:

Custo de Capital	Valor do Adiantamento a 15% de Redução (+1,4 anos)	Valor do Adiantamento a 20% de Redução (+2,0 anos)
8%	US\$ 9.190	US\$ 12.840
10%	US\$ 11.240	US\$ 15.620
12%	US\$ 13.200	US\$ 18.250

A faixa de custo de capital reflete as taxas típicas de financiamento de carretas comerciais e taxas de empréstimo de concessionárias (cerca de 8% a 12%) para clientes corporativos qualificados. Um frotista deve substituir seu próprio custo de capital real ou taxa de financiamento para obter precisão

A um custo de capital representativo de 10%, uma frota que atinge a redução total de 20% no tempo de operação e estende a vida útil em dois anos adia aproximadamente US\$ 15.620 em termos de valor presente em uma única carreta, ao reter ou evitar o financiamento desse capital por mais dois anos. Considerando um valor médio de 17,5%, o valor equivalente seria de aproximadamente US\$ 13.440.

Esta é a maior das três fontes de economia quantificadas nesta análise, e escala diretamente com o preço da carreta e com o custo de capital real da frota. Um frotista que financie novos equipamentos na extremidade superior da faixa de empréstimo comercial, ou uma frota com um potencial de economia mais alto, verá um efeito ainda maior do que os números mostrados aqui.

Este número é tão útil na etapa inicial de uma decisão de aquisição quanto no momento da venda/descarte. Conhecer o valor do adiantamento antecipadamente orienta como uma frota modela a viabilidade econômica na compra de uma nova carreta, como estrutura seu financiamento ou como planeja o orçamento de capital, e não apenas como planeja a eventual revenda.

7. Quarta Fonte de Economia: Resiliência Operacional

Ao lado das três fontes de economia quantificadas e estabelecidas nas Seções 4 a 6, a redução no tempo de operação do TRU produz benefícios operacionais que são reais, porém mais difíceis de precificar com precisão. Eles são apresentados aqui como efeitos direcionais de redução de risco, em vez de valores em dólares, e devem ser avaliados com a mesma transparência metodológica das estimativas nas Seções 4 a 6.

- **Estabilidade na temperatura de distribuição e retorno do ar frio:** Um TRU que aciona menos ciclos para manter a temperatura opera de forma mais constante, o que reduz as oscilações térmicas mais propensas a comprometer a qualidade do produto ou desencadear um desvio na cadeia do frio.
- **Redução da exposição a incidentes devido ao calor extremo:** Uma carreta com maior margem térmica durante condições de alta temperatura ambiente fica menos exposta durante picos de calor, momento em que os incidentes com perda de carga relacionados à temperatura são mais prováveis de ocorrer.

- **Menores emissões de gases de efeito estufa (GEE) e benefícios contábeis de carbono:** Menos tempo de operação do TRU significa menos diesel queimado e menores emissões de GEE associadas. Isso é algo relevante tanto para o relatório de emissões de Escopo 1 da própria frota, quanto para a gestão de emissões de Escopo 3 dos embarcadores e clientes ao longo da cadeia de suprimentos, uma área de foco crescente na Europa e cada vez mais presente nos critérios de avaliação de clientes na América do Norte.

Caso a transportadora possua um histórico próprio de incidentes ou dados de temperatura coletados em projetos-piloto, essas informações devem ser utilizadas para transformar esses benefícios qualitativos em indicadores financeiros em análises futuras.

8. Oportunidade Total ao Longo de um Ciclo de Propriedade de 6 Anos

Ao somar as três fontes de economia quantificadas — e considerando uma média de 17,5% de redução no tempo de operação, o diesel a US\$ 3,50/galão e um custo de capital de 10% para a renovação da frota —, o potencial total de economia por carreta se torna o seguinte:

Fonte de Economia	Impacto em 6 Anos
Economia de combustível (a US\$ 3,50/galão)	US\$ 7.350
Valor de revenda preservado / Adiamento de despesas com o TRU	US\$ 2.250–\$4.950
Adiamento no investimento para substituição completa da carreta (a 10% de custo de capital)	US\$ 11.240–\$15.620
Resiliência Operacional	Não quantificado — menor exposição a incidentes com perda de carga, estabilidade de temperatura
Potencial total de economia	Aproximadamente US\$ 20.840–US\$ 27.920

A economia referente ao adiamento do investimento na carreta completa foi calculada considerando um custo de capital de referência de 10%; consulte a Seção 6 para a análise de sensibilidade completa (faixa de 8% a 12%). Os valores finais são proporcionais à taxa de financiamento real da frota e ao preço de aquisição da carreta.

O adiamento nos investimentos para a substituição completa da carreta é o maior componente individual desse total, o que reflete sua base de valor (em dólares) significativamente maior em comparação à economia de combustível ou aos custos de retífica do TRU. Este montante representa o potencial de economia total da solução, e não um cálculo de prazo de retorno (payback). Ele é intencionalmente apresentado de forma independente do preço do PolyFrost — que varia de acordo com o tamanho da frota e o escopo do projeto —, para que o racional financeiro se sustente por si só e possa ser cruzado com uma cotação feita sob medida para cada transportadora.

9. Base de Dados

A faixa de redução de 15% a 20% no tempo de operação utilizada ao longo deste documento baseia-se em dados de testes em campo. Um projeto-piloto de 76 dias e 611 horas, realizado em uma única carreta frigorífica, registrou uma redução de 20% na carga térmica do TRU durante o dia e de 17% à noite. O ciclo de trabalho médio caiu de 49,4% (antes da aplicação) para 39,7% (após o revestimento). Aproximadamente 15.000 medições foram registradas durante este teste. Desde então, pedidos recorrentes dessa mesma transportadora ampliaram a base de evidências de desempenho para além da janela inicial testada.

Um trabalho adicional de prova de conceito realizado em Pachuca de Soto, México, comprovou o princípio térmico da tecnologia: as temperaturas da superfície revestida operaram até 50 °C (90 °F) abaixo das superfícies sem revestimento, sob sol direto.

A validação independente mais robusta dessa base de evidências vem da Mesilla Valley Transportation Solutions (MVTs), uma organização certificadora terceirizada, especializada em testes de economia de combustível, sediada em Las Cruces, Novo México. A MVTs atua como uma entidade de testes imparcial e independente, que não recebe comissões pelas vendas dos produtos avaliados, e utiliza métodos proprietários de alta precisão com margem de erro de apenas +/- 0,2%. O teste MVT Solutions Certified™ avaliou uma carreta frigorífica revestida com o PolyFrost contra um veículo de referência (controle) sem revestimento, sob condições controladas lado a lado. O resultado apontou uma economia de 14,62% com combustível — um índice consistente com a faixa de redução no tempo de operação utilizada neste documento, mesmo considerando que a MVTs mede a economia geral de combustível em vez do ciclo de trabalho do TRU especificamente. O mesmo teste registrou uma redução máxima na temperatura externa do teto de 43 °C (77,4 °F) na carreta revestida, com uma redução média de 16,5 °C (29,7 °F) ao longo de todo o período, incluindo as horas noturnas. O relatório completo do teste está disponibilizado publicamente pela MVTs (veja as referências no final deste documento).

Histórico de Validação em Campo

A faixa de redução de tempo de operação utilizada neste documento baseia-se em testes de campo e provas de conceito conduzidos pela ChillSkyn em diversas condições climáticas e tipos de frotas, construindo uma base de evidências mais ampla para a estimativa de redução de 15% a 20%:

- Jackson, Mississippi, EUA – teste-piloto, clima úmido do Sudeste dos EUA.
- Monterrey, México – teste de validação em campo, clima industrial árido do norte do México.
- Videira, Santa Catarina, Brasil – teste de validação em campo, clima subtropical do Sul do Brasil.
- Chapecó, Santa Catarina, Brasil – teste de validação em campo, clima subtropical do Sul do Brasil.

Essa distribuição geográfica, abrangendo condições subtropicais úmidas no Sudeste dos EUA e no Sul do Brasil, juntamente com o clima industrial árido do norte do México, corrobora a estimativa de redução de 15% a 20% no tempo de operação como uma faixa representativa de diferentes condições operacionais, e não como um resultado específico de apenas um clima ou uma frota.

Esta base de evidências está alinhada com a faixa de redução no tempo de operação utilizada como parâmetro de cálculo (estimativa de trabalho). No entanto, esta base ainda não inclui um estudo de

preços de revenda com pares correspondentes que isole carretas revestidas versus carretas sem revestimento com horas equivalentes, o qual continua sendo a maneira mais direta de validar os argumentos de valor de revenda da Seção 5 utilizando dados de transações de mercado, em vez de uma estimativa.

10. Implicações por Perfil de Comprador

A Seção 3 estabeleceu qual caminho — posicionamento de revenda ou vida útil estendida — se aplica a qual tipo de frota. Esta seção identifica qual fonte de economia deve guiar a conversa para cada tipo de comprador, e o que deve ser perguntado internamente para confirmá-la.

Frotistas com cronograma fixo de renovação

Para frotistas no Caminho A, o capital adiado da carreta completa da Seção 6 é menos aplicável diretamente, uma vez que a data de substituição não muda. O fluxo de valor de revenda na Seção 5 é a principal fonte de economia a ser usada como argumento. A pergunta prática a ser levada a uma transportadora ou equipe de leasing é: qual é o valor de retorno (trade-in) que eles estão assumindo atualmente nas horas padrão de saída, já que essa é a linha de base sobre a qual uma carreta com menor tempo de operação trará melhorias.

Caminhoneiros autônomos e frotistas que operam até o limite do desgaste

Para frotistas no Caminho B, o fluxo de capital adiado na Seção 6 é a fonte de economia dominante, já que esses são os que adiam a decisão de compra em vez de realizar o valor em um ponto fixo de saída. A pergunta interna relevante é qual é a taxa de financiamento ou o potencial de economia que a frota carrega, visto que essa taxa, e não a cifra ilustrativa de 10% usada neste documento, é o que determina a magnitude real do valor de adiamento.

Fabricantes (OEMs) e parceiros de distribuição

Para fabricantes e concessionárias que consideram o PolyFrost como uma especificação de fábrica ou pré-entrega, o argumento relevante abrange ambos os tipos de compradores simultaneamente: uma carreta com menos horas acumuladas é mais fácil de vender com base em um argumento de economia vitalícia, e, posteriormente, sustenta uma reputação de revenda mais forte para a marca à medida que essas mesmas carretas chegam ao mercado de usados. Isso transforma a redução do tempo de operação em uma decisão de especificação de produto (fábrica), em vez de uma escolha de retrofit tomada pelo frotista.

11. Conclusão

As três fontes de economia apresentadas neste artigo se somam (têm efeito composto) em vez de competirem. A economia de combustível aparece no orçamento operacional todos os anos em que a carreta está na estrada. O valor de revenda aparece de uma só vez, no momento da venda (trade-in), para frotas que saem em um cronograma fixo. O adiamento de capital aparece como uma exigência

de caixa menor e postergada para os frotistas que utilizam o equipamento até que ele atinja seu desgaste final. A maioria das transportadoras orça apenas a primeira dessas três fontes.

Essa lacuna é exatamente a descoberta sobre a qual vale a pena agir: uma redução de 15% a 20% no tempo de operação do TRU vale aproximadamente US\$ 21.000 a US\$ 28.000 por carreta ao longo de um ciclo padrão de seis anos, e a maior fatia desse número reside em um efeito de adiamento de capital que a maioria das transportadoras não está sequer monitorando hoje, visto que uma compra ainda não realizada não gera fatura e não precisa de aprovação.

Qual fonte de economia é mais importante depende de como o frotista gerencia a renovação de seus ativos — cronograma fixo ou operação até o limite do desgaste —, conforme estabelece a Seção 10. O que não depende dessa escolha é o mecanismo subjacente: menos horas acumuladas, valoradas de forma consistente em termos de combustível, revenda e capital, sobre o mesmo ativo, ao longo do mesmo período de uso.

Perguntas Frequentes (FAQ)

O tempo de operação do TRU afeta o valor de revenda de uma carreta frigorífica?

Sim. As horas do TRU, e não a idade da carreta, são o indicador que compradores e revendedores utilizam para avaliar uma carreta frigorífica no momento da venda, já que os principais componentes de desgaste se degradam com o tempo de operação, e não com o tempo de calendário. Uma carreta com menos horas acumuladas é revendida por um valor substancialmente maior do que uma carreta idêntica com um TRU de alta quilometragem/hora, mesmo quando ambas são do mesmo ano/modelo.

Quanto a redução do tempo de operação do TRU pode economizar em combustível ao longo da vida útil da carreta?

Em um perfil de frota padrão com 2.500 horas de operação do TRU por ano, uma redução de 15% a 20% no tempo de operação economiza cerca de 1.800 a 2.400 galões (aprox. 6.800 a 9.000 L) de diesel off-road ao longo de um ciclo de vida útil de seis anos, o que equivale a uma economia de US\$ 6.300 a US\$ 8.400, considerando o diesel a US\$ 3,50 por galão (ver Seção 4).

É melhor estender a vida útil de uma carreta frigorífica ou substituí-la no prazo programado?

Depende de como a transportadora já opera. Frotistas com cronograma fixo de renovação capturam mais valor ao garantir um melhor posicionamento de revenda na mesma data de saída. Já os frotistas que utilizam o equipamento até o limite do desgaste capturam mais valor ao adiar a própria substituição. Este último costuma ser o maior benefício em termos de valor presente, pois adia um grande desembolso de capital em vez de apenas melhorar o preço de revenda (ver Seção 10).

Como uma transportadora frigorífica deve encarar a otimização de seus custos operacionais?

O custo operacional para frotas frigoríficas deve ser avaliado considerando combustível, manutenção e tempo de inatividade (downtime) em conjunto, e não o combustível de forma isolada, pois as escolhas de equipamentos que reduzem o tempo de operação do TRU geralmente reduzem os três simultaneamente. Os frotistas operam com índices operacionais muito justos, portanto, até mesmo pequenas reduções compostas em custos fixos e variáveis podem ter um efeito desproporcional no desempenho global. As oportunidades de maior impacto costumam ser aquelas que reduzem o esforço exigido do sistema de refrigeração, e não apenas aquelas que reduzem o preço pago por litro/galão.

Por que tanto as despesas operacionais (OPEX) quanto as despesas de capital (CAPEX) importam nas decisões de equipamentos da frota?

Economias em despesas operacionais (como combustível e manutenção) aparecem todos os anos e são fáceis de monitorar. Os impactos nas despesas de capital (como valor de revenda e adiamento

de substituição) aparecem apenas uma vez, anos à frente, e são fáceis de negligenciar. Uma decisão avaliada apenas pela despesa operacional pode ignorar o maior dos dois efeitos, já que o adiamento de investimento ou a melhoria na revenda frequentemente superam a economia anual quando medidos ao longo de todo o ciclo de vida do ativo.

Como os gestores de frotas devem avaliar uma nova tecnologia em relação ao seu impacto tanto no OPEX quanto no CAPEX?

Uma avaliação completa levanta três questões: O que isso faz com o custo operacional anual? O que isso faz com o valor de revenda ou com o perfil de desgaste do ativo na hora da saída? E o que isso faz com o cronograma da próxima compra de ativos? Uma tecnologia avaliada apenas pelas economias operacionais terá seu verdadeiro valor subestimado se ela também prolongar a vida útil do equipamento ou alterar o seu valor de revenda.

Apêndice: Metodologia e Ressalvas

Referência de valor de revenda (US\$ 1,00–US\$ 1,65 por hora de TRU)

Este valor é derivado ao tratar a parcela estimada que o TRU representa no valor de uma carreta nova (cerca de 30% a 35%, ou aproximadamente US\$ 20.000 a US\$ 30.000 de uma carreta na faixa de preço de US\$ 60.000 a mais de US\$ 90.000) e depreciando-a ao longo da sua vida útil típica de 15.000 a 20.000 horas, tendo o custo da retífica como o piso residual. É uma estimativa fundamentada, construída a partir de faixas de preço publicadas e dados típicos de vida útil, e não uma regressão contra preços de venda de carretas idênticas (com e sem revestimento). Este dado deve ser descrito interna e externamente como um indicador direcional de apoio ao argumento de revenda, e não citado como uma taxa de mercado validada.

Faixa de preço de carretas novas

A faixa de preço de US\$ 60,000 a mais de US\$ 90,000 para carretas novas é sustentada por dados de precificação do setor até o início de 2026. O valor de US\$ 90.000 utilizado na Seção 6 encontra-se dentro desta faixa e deve ser atualizado com base em cotações reais específicas da frota, quando disponíveis.

Adiamento de capital da substituição completa da carreta (US\$ 9.190–US\$ 18.250)

Este número representa o valor presente de se adiar um desembolso de capital de US\$ 90.000 por 1,4 a 2,0 anos, calculado da seguinte forma:

$$\text{Valor do adiamento} = \text{Preço da carreta} - \left[\frac{\text{Preço da carreta}}{(1 + \text{Custo de capital})^{\text{anos adiados}}} \right]$$

A faixa de custo de capital de 8% a 12% reflete as taxas de financiamento comercial e de empréstimos de concessionárias publicadas para tomadores qualificados, e não um dado específico de uma única frota. Esta é uma abordagem padrão em finanças corporativas para saídas de caixa postergadas, não um número observado diretamente no mercado; para maior precisão, a taxa de financiamento real ou a taxa de atratividade (hurdle rate) da própria frota deve ser substituída na fórmula. Esta fonte de economia pressupõe que o gatilho real para a substituição na frota seja a condição do TRU, e não um cronograma fixo de depreciação, data de devolução de leasing ou outra política baseada em calendário; quando essa premissa não for válida para uma frota específica, esta fonte de economia deve ser descontada ou removida.

Estimativas de economia de combustível

A estimativa de 0,8 galão/h como consumo base do TRU e 2.500 horas de operação anuais representam números médios de frotas e devem ser substituídas por dados específicos da transportadora sempre que possível, uma vez que o ciclo de trabalho real varia de acordo com o tipo de carga, perfil da rota, clima e idade da carreta.

Faixa de redução no tempo de operação

A faixa de 15% a 20% baseia-se nos resultados de testes-piloto da ChillSkyn. O desempenho real variará de acordo com a frota, a rota e o clima, e não deve ser apresentado como um resultado garantido para nenhuma frota individual sem dados de validação específicos da própria transportadora.

Alegações sobre Resiliência Operacional

As alegações referentes à estabilidade na temperatura de distribuição e retorno do ar frio, bem como a redução do risco de incidentes com perda de carga devido ao calor extremo, são apresentadas como indicativas e baseadas na mitigação de riscos, não como garantias quantificadas, ficando condicionadas ao histórico de incidentes de deterioração de carga ou dados de temperatura específicos de cada frota.

Referências

Testes independentes

Mesilla Valley Transportation Solutions (MVTs), ChillSkyn 53' Refrigerated Trailers — MVT Solutions Certified™ Test Report, Las Cruces, N.M., 2025. <https://www.m-v-t-s.com/certified-technology/aerodynamics/chillskyn-trailer/>

Dados do setor

American Transportation Research Institute (ATRI), An Analysis of the Operational Costs of Trucking: 2025 Update, July 2025.

Technology & Maintenance Council (TMC), American Trucking Associations, IR-2022-1: North American Refrigerated Trailer Survey Report, 2022.

O Trucking, Reefer Trailer Cost: New vs Used Prices & Total Cost of Ownership, 2026. <https://otrucking.com/resources/guides/reefer-trailer-cost/>

Dados de validação em campo da ChillSkyn

Extensão da Vida Útil de Carretas Frigoríficas, Las Cruces, Novo México (2025): <https://www.chillskyn.com/pt-bs/historias-de-sucesso/reboques-refrigerados/>

Resfriamento Passivo para Carretas Frigoríficas de Armazenagem Estática, Carolina do Norte, EUA (Agosto–Outubro 2025): <https://www.chillskyn.com/pt-bs/historias-de-sucesso/refrigeradores-de-armazenamento-estatico/>

Teste de prova de conceito: Resfriamento Passivo para Cargas Sensíveis à Temperatura, Pachuca de Soto, México (junho 2025): <https://www.chillskyn.com/pt-bs/historias-de-sucesso/carga-sensivel-a-temperatura/>

Teste de validação em campo: Jackson, MS; Monterrey, México; Videira e Chapecó, Brasil (dados disponíveis mediante solicitação).